

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДНОФАЗНОГО РЕЗОНАНСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ИСТОЧНИКА НАПРЯЖЕНИЯ В ИСТОЧНИК ТОКА С УЧЕТОМ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЦЕПИ

В настоящее время большинство приемников электрической энергии при переменных токах автономно работающих электротехнических устройств питается от электромашинных генераторов, являющихся по существу источниками э. д. с. В технической литературе источники э. д. с. называются иногда источниками напряжения, так как напряжение на зажимах генераторов или в заданных точках цепи поддерживается постоянным системами автоматического регулирования возбуждения генератора. Качество электрической энергии оценивается наряду с прочими критериями степенью стабильности напряжения.

Существует, однако, большая группа устройств электроэнергетики, автоматики, измерительной техники, для питания которых необходимы источники стабильного тока с не зависящим от сопротивления нагрузки амплитудным значением. Поскольку основными источниками энергии являются источники напряжения, то питание указанных выше устройств стабильным током обеспечивается созданием специального типа генераторов с системами автоматического регулирования, настроенными на постоянство тока приемника, или применением статических индуктивно-емкостных преобразователей источников напряжения в источники тока<sup>1</sup>. Принцип действия последних основан на использовании схемных вариантов цепей с резонансными явлениями Бушерио.

Анализ резонансных схем Бушерио производится, как правило, без учета сопротивлений элементов цепи. Задачей настоящего исследования является получение характеристик реального резонансного преобразователя источника напряжения в источник тока, включенного между автономно работающим полнополюсным синхронным генератором с э. д. с.  $E_0$  и внутренними сопротив-

<sup>1</sup> А. Н. Милых, Б. Е. Кубышин, И. В. Волков. Индуктивно-емкостные преобразователи источников напряжения в источники тока. Киев, «Наукова думка», 1964.

лениями  $r_0$ ,  $x_0$ , обмотки статора которого соединены звездой с нейтралью и приемником, обладающим активным сопротивлением на фазу  $r_n$ .

На рис. 1 приведена схема замещения несимметричного резонансного статического преобразователя напряжения трехфазного синхронного генератора 1 с э. д. с.  $E_0$ , индуктируемой основным магнитным потоком, в стабильный ток нагрузки  $I$ , который проходит через активное сопротивление  $r_n$ , изменяющееся в широких пределах. Конденсатор 3 полагается идеальным с реактивным сопротивлением  $-j \frac{1}{\omega C}$ . Со-

противлением линейного дросселя 2  $z_d = r_d + jx_d$  может при известных допущениях учитываться активное сопротивление его обмотки, потери в стали, а также коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции от рабочего потока и потока рассеяния магнитопровода дросселя.

Полагая обмотки генератора и линейного дросселя не связанными магнитно и обозначив их эквивалентное сопротивление

$$z_3 = r_3 + jx_3 = r_0 + r_d + j(x_0 + x_d); \quad x_3 = \omega L_3,$$

получим для приемника с активным сопротивлением  $r_n$  действующее значение тока нагрузки гармоники основной частоты

$$\dot{I} = \frac{\dot{E}_0}{r_n + z_3 + z_3 - \frac{r_n}{-j \frac{1}{\omega C}}}.$$

Выразив действующее значение первой гармоники э. д. с. ненасыщенного генератора через полный поток  $\Phi_1$  полюса  $E_0 = \frac{k_{06}\omega}{\sqrt{2}} \omega \Phi_1$ , найдем выражение модуля тока нагрузки основной частоты через параметры элементов схемы

$$I = \frac{k_{06}\omega}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\omega \Phi_1}{\sqrt{(r_n + r_3 - r_n L_3 C \omega^2)^2 + \omega^2 (L_3 + r_3 r_n C)^2}}.$$

При заданных параметрах элементов цепи: добротности контура  $Q = \frac{1}{r_3} \sqrt{\frac{L_3}{C}}$  и величине проводимости нагрузки  $g_n = \frac{1}{r_n}$ ,

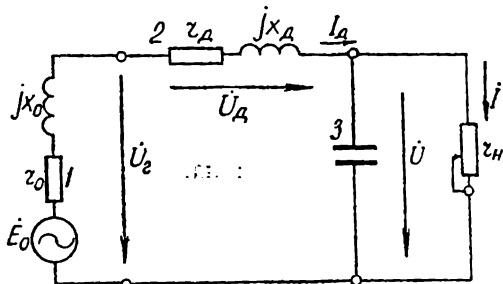


Рис. 1. Принципиальная схема цепи.

определяемой по отношению к проводимости дросселя коэффициентом  $k_g = \frac{g_n}{g_\partial} = r_\partial g_n$ , модуль действующего значения тока нагрузки будет максимальным при резонансной частоте

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{r_\partial + r_n}{r_n L_\partial C}} = \sqrt{\frac{1 + k_g}{L_\partial C}} \quad (1)$$

и равен

$$I_m = \frac{k_{ог} \omega}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\Phi_{1нас}}{(L_\partial + r_n r_\partial C)}. \quad (2)$$

Резонансная частота и величина тока нагрузки тем меньше зависят от проводимости нагрузки, чем меньше активное сопротивление дросселя.

В идеализированной цепи при  $r_\partial = 0$  и  $\omega_0^* = \frac{1}{\sqrt{L_\partial C}}$  модуль тока нагрузки не зависит от проводимости нагрузки

$$I_m^* = \frac{k_{ог} \omega}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\Phi_1^*}{L_\partial}. \quad (3)$$

Для анализа влияния проводимости нагрузки и частоты на характер изменения модуля действующего значения тока нагрузки последний выражен в относительных единицах.

$$\frac{I}{I_m^*} = \frac{1}{k \sqrt{\left( \frac{Q - \gamma^* Q + \beta}{\gamma Q \beta} \right)^2 + \left( 1 + \frac{1}{\beta Q} \right)^2}}. \quad (4)$$

За базисную величину тока нагрузки принято действующее значение (3) его первой гармоники, не зависящей от активных проводимостей дросселя и нагрузки при резонансной частоте  $\omega_0$  (1). За базисную частоту принята собственная частота колебаний контура  $\omega_0^*$ , также не зависящая от указанных выше величин.

В относительных единицах частота принята равной  $\gamma = \frac{\omega}{\omega_0^*} = \omega \sqrt{L_\partial C}$ . Резонансная частота обозначена  $\gamma_0 = \omega_0 \sqrt{L_\partial C} = \sqrt{1 + k_g}$ .

Нелинейность вольтамперной характеристики генератора (за счет насыщения его магнитной цепи), а также изменение синхронного сопротивления генератора вследствие изменения поля реакции якоря могут быть учтены коэффициентом  $k = \frac{\Phi_1}{\Phi_1^*}$ , где

$\Phi_1^*$  — величина магнитного потока при токе нагрузки  $I_m^*$  идеализированного контура.

Частотные характеристики цепи (рис. 2) получены расчетным путем в зависимости от изменения частоты при постоянных пара-

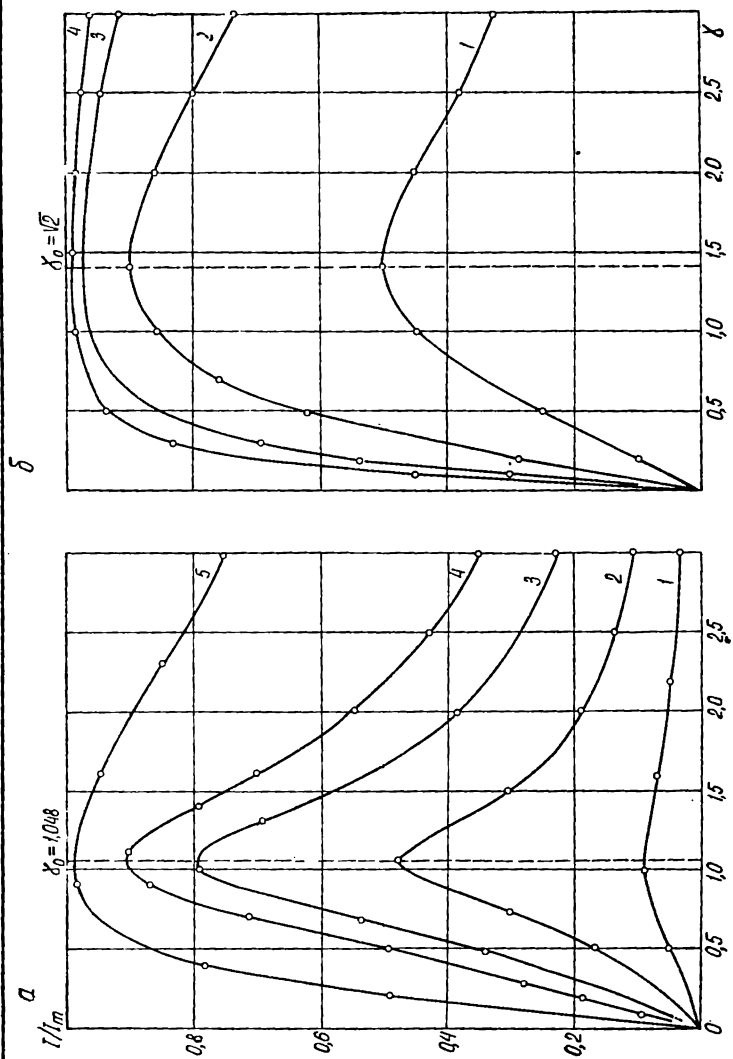


Рис. 2. Частотные характеристики  $\frac{I}{I_m^*} = f_1(\gamma)$  при  $k_g = 0, 1$  (а) и  $k_g = 1$  (б):

1 —  $Q = 1.0$ ; 2 — 3; 3 — 6.3138; 4 — 10; 5 — 30.

метрах элементов цепи и проводимости нагрузки для различных коэффициентов  $k_g$  и добротностей контура. Анализ расчетных кривых показывает, что для каждого заданного значения коэф-

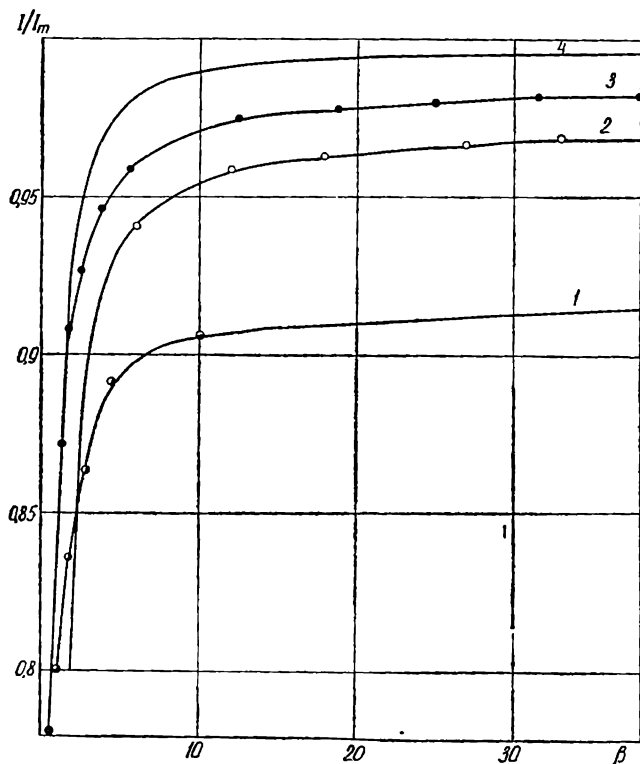


Рис. 3. Характеристики  $\frac{I}{I_m} = f_2(\beta)$  при  $\gamma_0 = \sqrt{2}$  (2, 4) и при  $\gamma = 0,965$ ,  $Q = 6,3138$  (1, 3).

фициента  $k_g$  существует оптимальная добротность контура  $Q_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{1}{k_g}}$ , при которой наблюдается наибольшее влияние изменения частоты на величину тока нагрузки. Это следует учитывать при выборе параметров преобразователя.

Зависимость тока нагрузки от проводимости нагрузки  $\frac{I}{I_m} = f_2(\beta)$  при постоянных э. д. с., частоте генератора и заданной добротности контура  $Q$  рассчитана по формуле (4) без учета насыщения ( $k=1$ ). Безразмерный коэффициент  $\beta$ , равный отноше-

нию волнового сопротивления контура к сопротивлению нагрузки, пропорционален проводимости нагрузки  $g_n$ :

$$\beta = \frac{1}{r_n} \sqrt{\frac{L_3}{C}} = g_n \sqrt{\frac{L_3}{C}} = k_g Q.$$

На рис. 3 приведена небольшая часть семейства расчетных характеристик  $\frac{I}{I_m} = f_2(\beta)$  для контуров с различными добротностями:  $Q=3$  (кривая 2) и  $Q=10$  (кривая 4) — при резонансной частоте, равной

$$\gamma_0 = \sqrt{1 + k_g} = \sqrt{2}; \quad k_g = 1.$$

На этом же рисунке приведены расчетная (кривая 3) и опытная (кривая 1) характеристики при частоте  $\gamma = 0,965$  однофазного контура экспериментальной установки со значением добротности контура  $Q=6,3138$ . По характеру изменения тока нагрузки расчетная и опытная кривые практически совпадают.

Анализ расчетных кривых показывает, что активные сопротивления генератора и линейного дросселя уменьшают величину тока нагрузки в резонансном режиме и нарушают стабильность его величины только при относительно малых значениях проводимости нагрузки. В широком диапазоне изменения проводимости нагрузки (коэффициента  $\beta$ ) при колебании частоты  $\gamma$  при  $Q \neq Q_{\text{опт}}$  преобразователь может обеспечить стабильность тока нагрузки с заданной точностью. Расчетные кривые могут быть использованы при выборе параметров элементов преобразователя и анализе его выходных характеристик.